

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Лавриненко В.Ю.

к.т.н., доц. кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением»,
заведующий лабораторией САПР.

Московский государственный индустриальный университет (ГОУ МГИУ)

Листовая штамповка обеспечивает высокое качество продукции и высокую производительность изготовления деталей. Основными требованиями модернизации технологических процессов листовой штамповки являются снижение затрат на производство, экономия металла и энергоресурсов [1, 2].

Автоматизация проектирования позволяет сократить сроки проектирования и снизить затраты на производство, что возможно при использовании программного комплекса PAM-STAMP для автоматизации проектирования процессов листовой штамповки [4].

Программный комплекс PAM-STAMP - программный продукт для конечно-элементного моделирования и анализа формоизменяющих процессов листовой штамповки. Разработчик - фирма «PAM Systems International». Программу PAM-STAMP используют такие известные автомобильные компании как «Skoda Auto», «Renault» и «Nissan».

Программа включает в себя следующие модули:

1. DELTAMESH – модуль для автоматического построения конечных элементных моделей инструмента по его геометрической модели. Совместим с CAD – программами.

2. PAM-DIE-MAKER – модуль для быстрого построения и изменения инструмента непосред-

ственно в самой программе. Также можно задать линию обрезки фланца.

3. DIE-TRIMMING – модуль для оптимизации процессов пробивки, вырубки, обрезки.

4. INVERSE – модуль, позволяющий получить форму заготовки по форме детали или перехода штамповки. Совместим с CAD – программами.

5. PAM-QUICKSTAMP – модуль быстрого расчета и проверки штампуемости заданной детали. Имеет ограничения по заданию некоторых технологических параметров (например, скорость движения подвижных частей).

6. BLANK OPTIMIZER – модуль для оптимизации формы исходной заготовки. Совместим с CAD – программами.

7. PAM – AUTOSTAMP – модуль для моделирования реального процесса штамповки с учетом таких условий, как смещение заготовки под действием силы тяжести, многопереходная штамповка, обрезка, оценка пружинения и др.

8. TUBE и HYDRO – модуль для моделирования процессов гибки труб и гидроформовки.

9. STAMP TOOLKIT – приложение для задания различной кинематики движения инструмента для сложных многопереходных процессов штамповки [3].

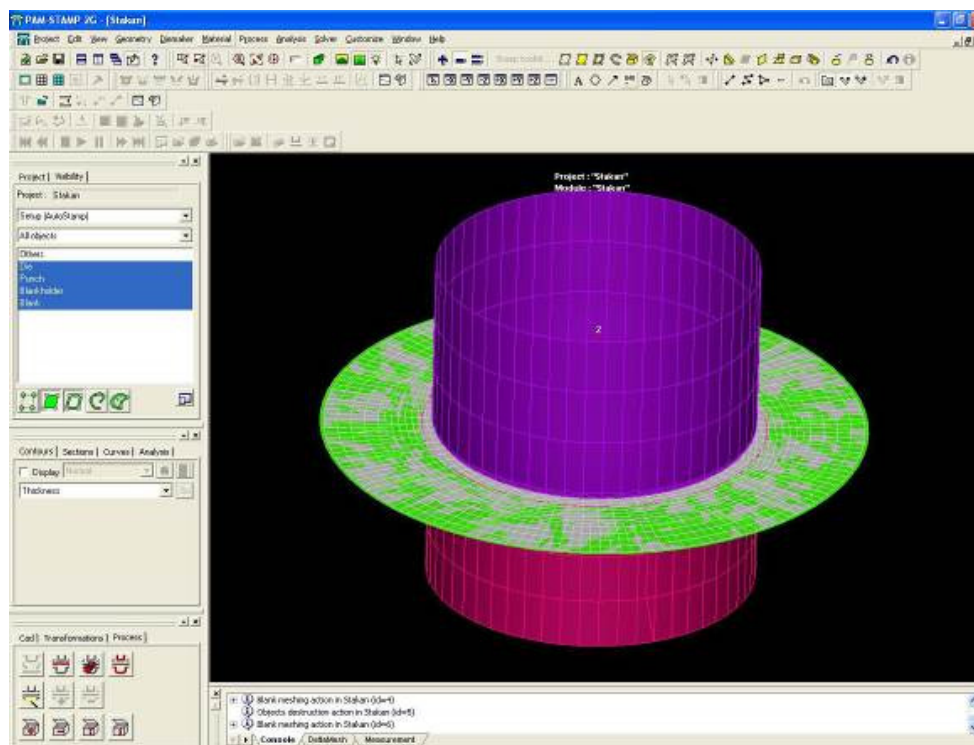


Рис. 1. Интерфейс программы PAM-STAMP

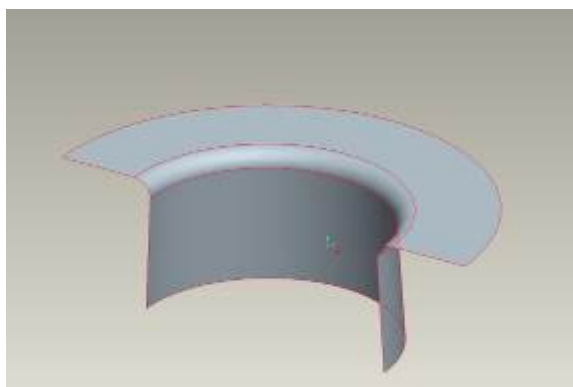
Исходными данными для проведения моделирования процесса листовой штамповки в программном комплексе PAM-STAMP являются:

- трехмерные геометрические модели вытяжного перехода или инструмента (пуансона и матрицы);
- свойства материала заготовки (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность, коэффициенты анизотропии, а также экспериментальная кривая деформирования);
- технологические параметры процесса: сила прижима заготовки, скорость движения пуан-

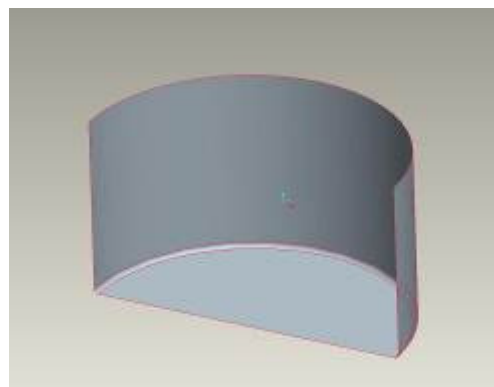
сона, коэффициент трения между инструментом и заготовкой.

Геометрические модели вытяжного перехода или инструмента в виде рабочих поверхностей (рис. 2) импортируют в программу PAM-STAMP. Для импорта информации из CAD – файлов геометрии может быть использован универсальный формат *.iges.

С помощью встроенных модулей DELTAMESH и DIEMAKER создают конечно-элементные (КЭ) модели рабочих поверхностей пуансона, матрицы и прижима.



а



б

Рис. 2. Геометрические модели инструмента: а – матрица; б - пуансон

Созданные КЭ модели инструментов и заготовки ориентируют в пространстве по осям, задают последовательность их расположения и направление движения пуансона. На рис. 3 показаны конечно-элементные модели пуансона, прижима, матрицы и заготовки для вытяжки, созданные в программе PAM-STAMP.

Свойства материала заготовки задаются в программу в виде механических и физических параметров: модель материала, модуль Юнга, коэф-

фициент Пуассона, плотность, коэффициенты анизотропии, кривая предельных деформаций и экспериментальная кривая деформирования (рис. 4).

Также необходимо задать следующие технологические параметры процесса: материал заготовки, коэффициенты трения между заготовкой и инструментом, скорость движения пуансона, силу прижима заготовки, величину хода пуансона.

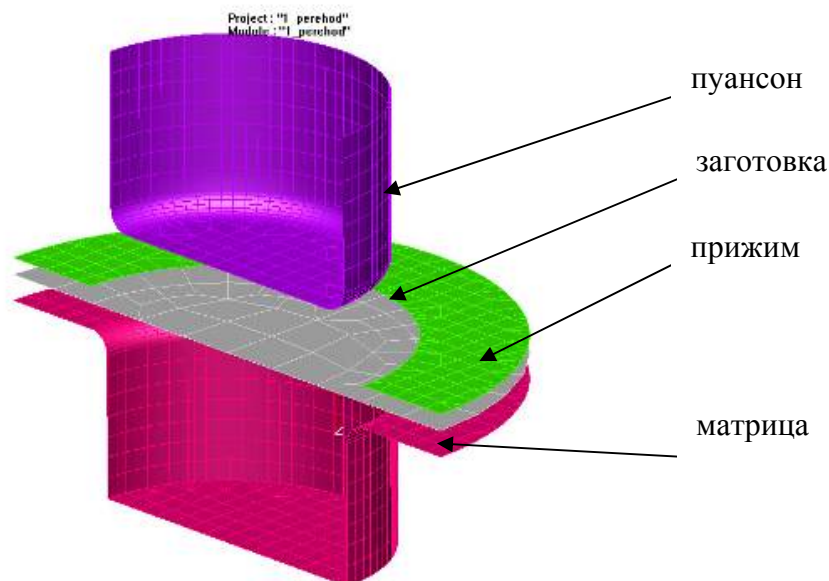


Рис. 3. Конечно-элементные модели пуансона, прижима, матрицы и заготовки в программе PAM-STAMP

- предельное формоизменение и возможные опасные зоны заготовки по критерию предельных деформаций;
- величины смещения и скорости движения отдельных зон заготовки;
- расстояния и углы между отдельными зонами заготовки;
- качество сгенерированной сетки конечных элементов;
- любой параметр, задаваемый пользователем с помощью формул;
- визуальное наличие дефектов (гофры, разрывы, складки);
- силовые параметры процесса (силы, действующие на пуансон, матрицу, прижим со стороны заготовки);
- величину пружинения заготовки и другие параметры.

Результаты расчета могут быть получены в виде полноцветных графических и анимационных

изображений любой стадии процесса с заданной пользователем дискретностью.

Примеры моделирования в программе RAM-STAMP

При штамповке детали «Держатель каркаса оперения» автомобиля ЗИЛ по существующей технологии происходят разрывы данной детали в угловых зонах (рис. 6, зона 1 и зона 2). С целью определения причин, вызывающих появление таких дефектов были проведены моделирование и анализ процесса штамповки данной детали в программном комплексе RAM-STAMP.

На рис. 6 представлены общий вид и геометрическая модель данной детали, а на рис. 7 – геометрические модели пуансона и матрицы для штамповки данной детали. Материал заготовки – сталь 08кп, толщина заготовки 1,5мм.

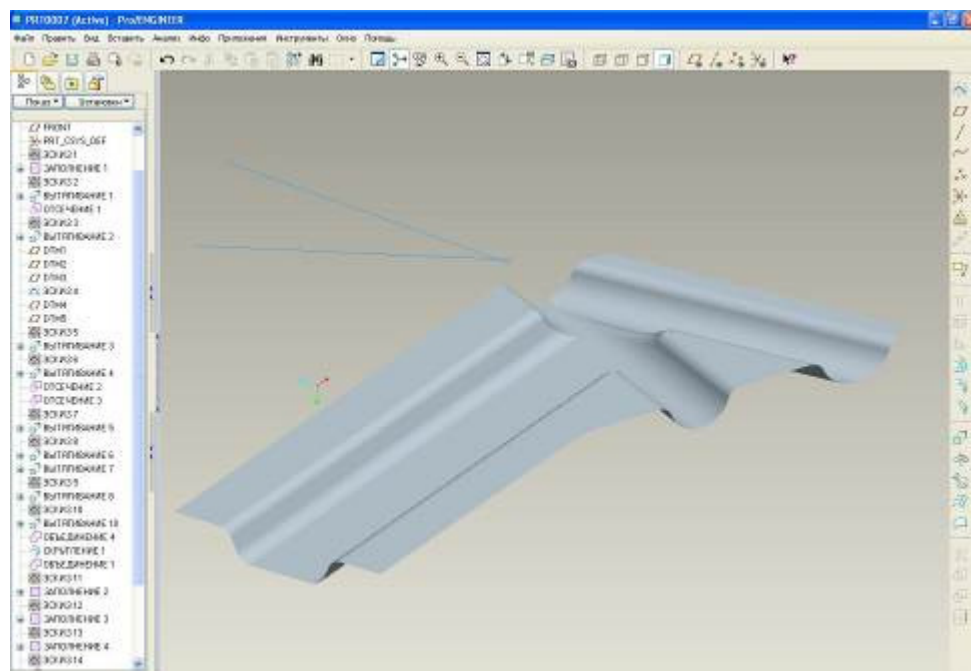
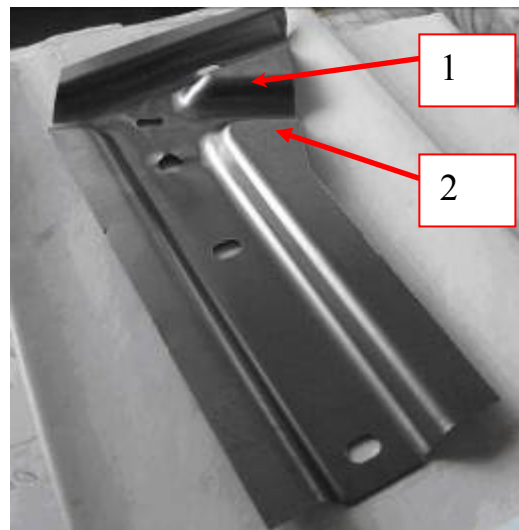
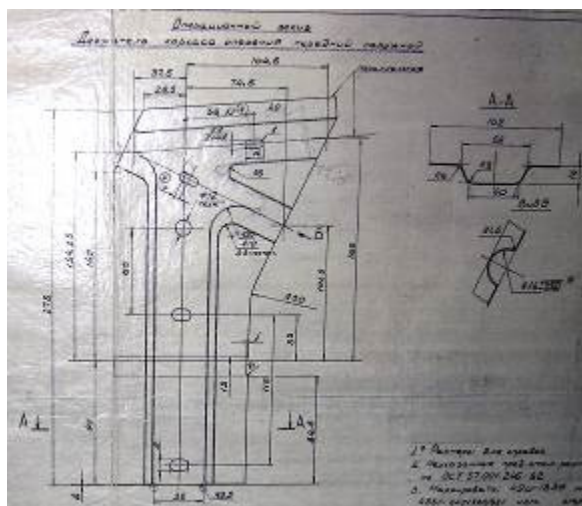


Рис. 6. Чертеж, общий вид и геометрическая модель детали «Держатель каркаса оперения»

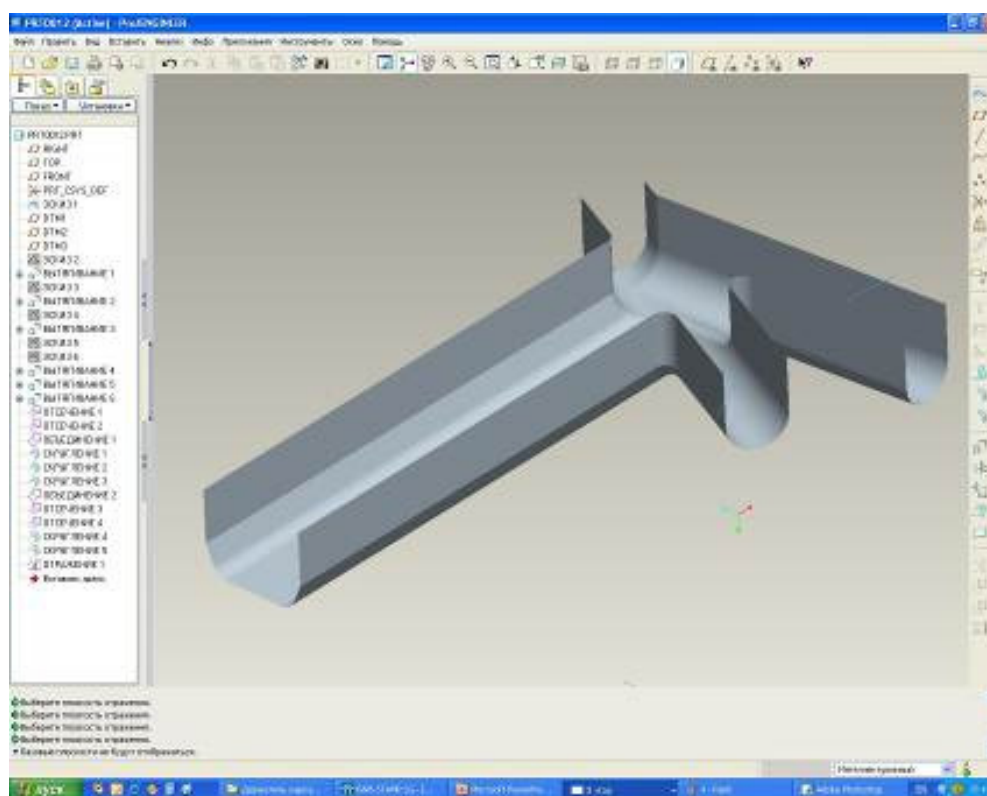
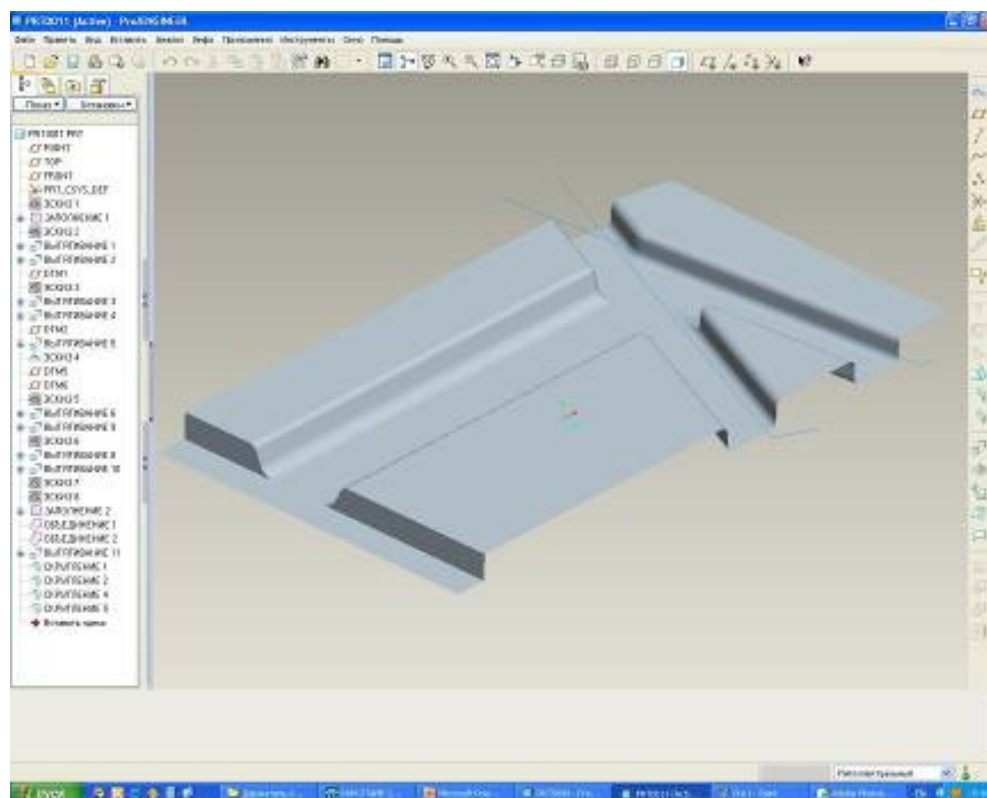


Рис. 7. Геометрические модели пуансона и матрицы

На рис. 8 представлены конечно-элементные модели инструмента и заготовки, созданные в программе PAM-STAMP.

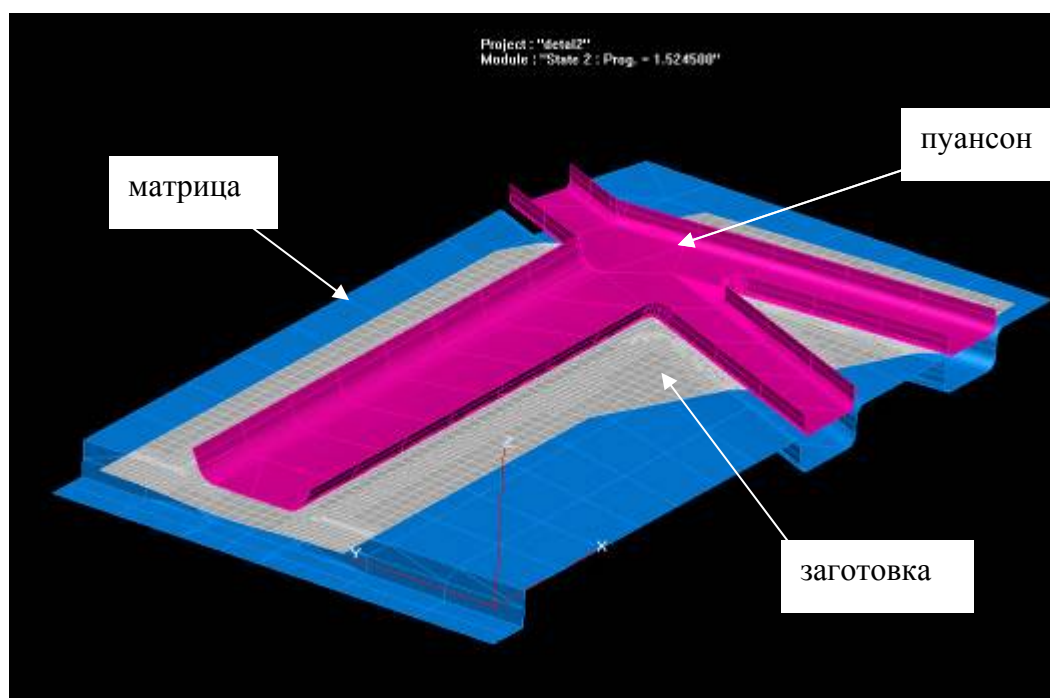


Рис. 8. Конечно-элементные модели инструмента и заготовки:
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка (прижим условно не показан)

Были заданы следующие технологические параметры (данные ОАО «АМО ЗИЛ»):

- материал заготовки – сталь 08кп. Свойства материала задавали в табличном виде, используя справочную кривую деформирования стали (рис. 10);

• технологические параметры процесса:

- сила прижима заготовки $Q = 50$ кН;
- скорость движения пуансона $0,3$ м/с;
- коэффициент трения – $0,12$.

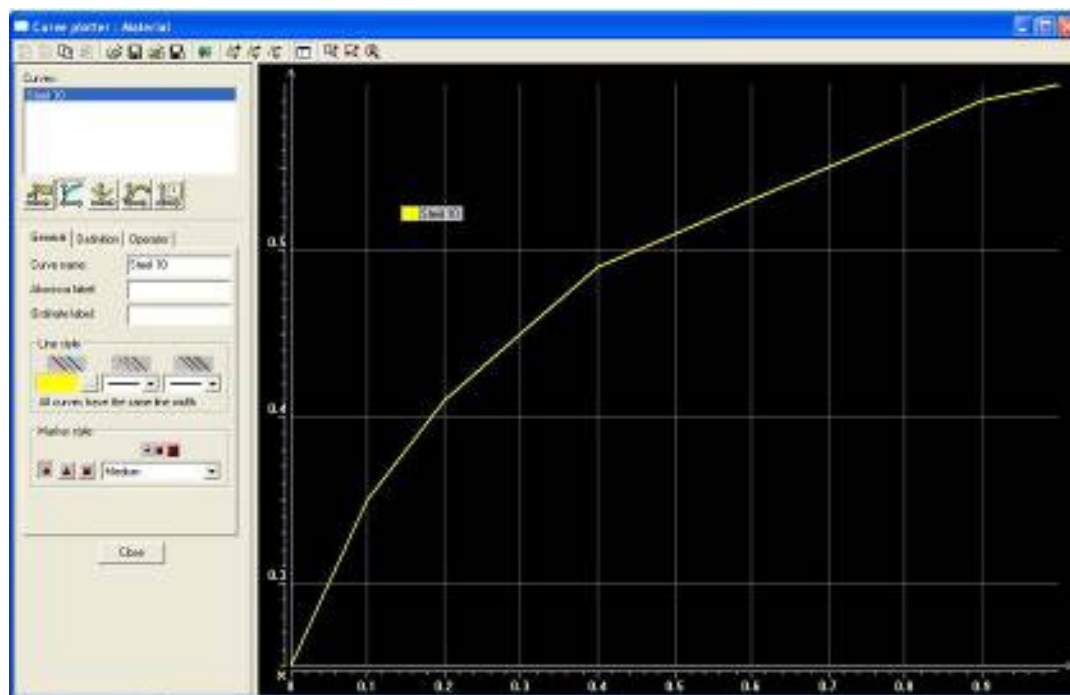


Рис. 9. Кривая деформирования стали 08кп в программе RAM-STAMP

На рис. 10-12 показаны некоторые результаты моделирования процесса штамповки детали «Держатель каркаса оперения».

После проведенного анализа результатов можно отметить, что в угловой зоне 2 (рис. 6) имеет место большое утонение материала детали, при этом величина минимальной толщины составляет 0,88мм. Величина интенсивности деформации в

этой зоне составляет 29%, а величина интенсивности напряжений – 485 МПа.

Разрывы в этой зоне имеют место вследствие наличия больших деформаций и растягивающих напряжений, приводящих к утонению стенки.

Для избежания появления разрывов было предложено увеличить радиус скругления матрицы в угловой зоне 2 (рис. 13).

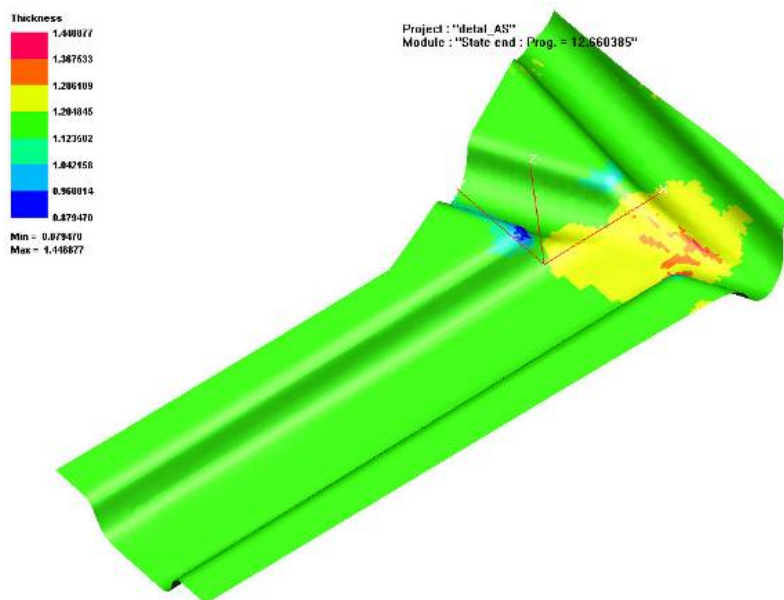


Рис. 10. Распределение толщины по сечению детали

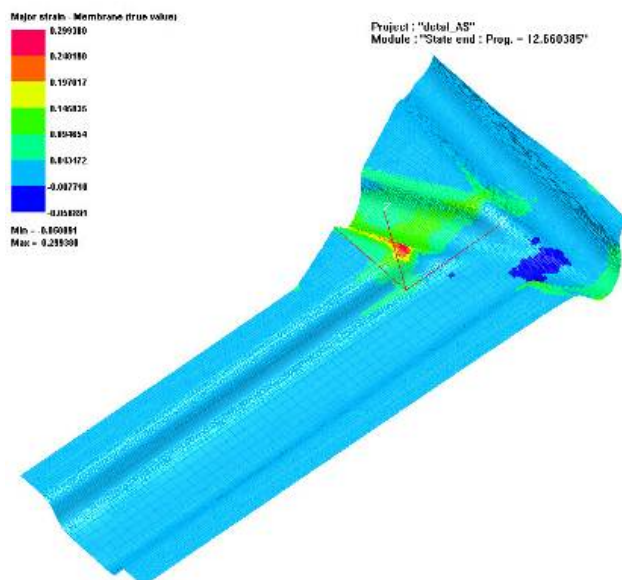


Рис. 11. Распределение полей деформаций

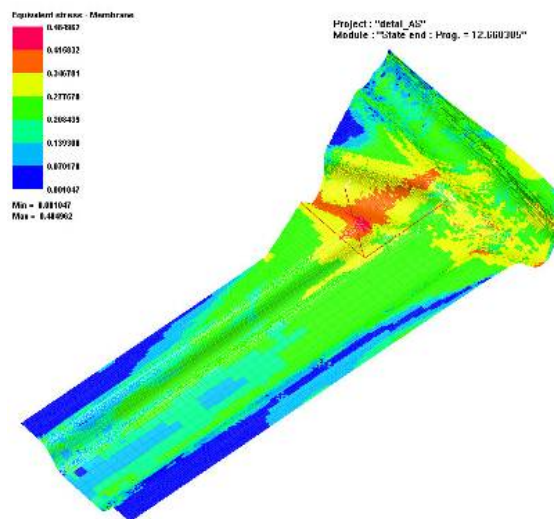


Рис.12. Распределение полей напряжений

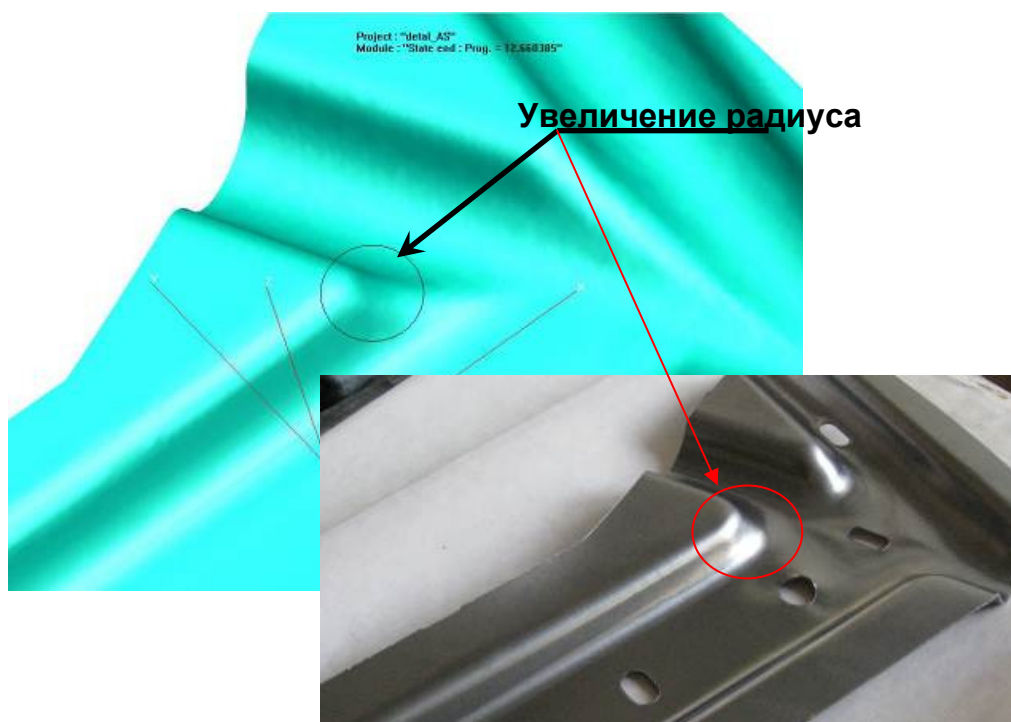


Рис. 13. Увеличение радиуса в угловой зоне 2

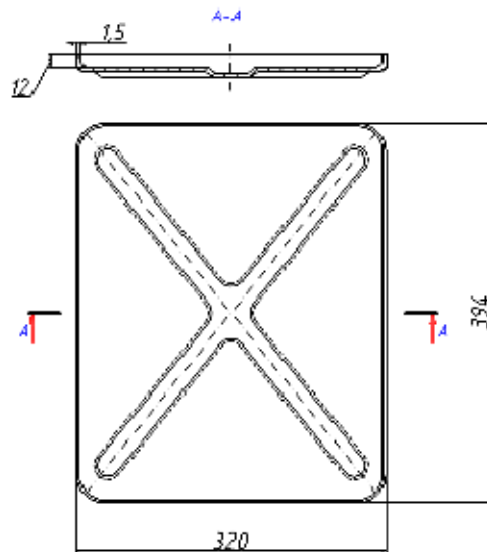
Было также проведено моделирование и анализ технологического процесса вытяжки и формовки коробчатой детали типа «Крышка», а также исследование влияния радиуса скругления углов прямоугольной заготовки $R = 40, 50$ и 60 мм на формоизменение и напряженно-деформированное состояние при вытяжке.

При вытяжке деталей коробчатой формы возникает неравномерность течения металла в угловых и на прямолинейных участках заготовки. Это требует дополнительной обработки для обрезки неравномерно вытянутых участков, поэтому при проектировании технологического процесса вводят

припуск на обрезку, что увеличивает расход материала и себестоимость детали.

Из анализа схемы напряженного состояния при вытяжке коробчатой детали известно, что имеют место различные виды напряженного состояния в угловых и на прямолинейных участках. Напряжения сжатия, действующие в плоскости фланца в угловой части, затрудняют течение металла в матрицу и вызывают образование складок в этой зоне. Металл фланца на прямолинейных участках заготовки практически не подвергается действию сжимающих напряжений и поэтому течет в матрицу интенсивнее. В результате стенка вытянутой коробчатой детали имеет неравномерную высоту [1].

Одним из способов получения деталей коробчатой формы с равномерной по периметру высотой стенки является выбор оптимальной формы и размеров заготовки, в частности, оптимального



радиуса скругления углов прямоугольной заготовки с учетом анизотропии материала заготовки.

На рис. 14 представлены размеры детали и исходной заготовки. Материал – сталь 08кп.

Заготовка

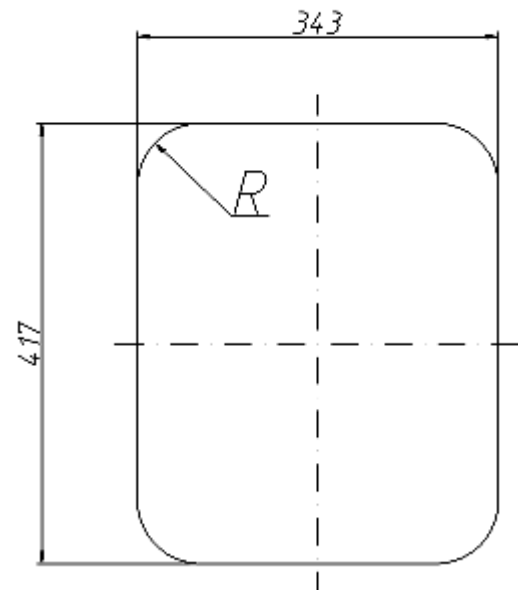


Рис. 14. Коробчатая деталь типа «Крышка» и заготовка со скругленными углами

Геометрическая модель детали (рис. 15) была импортирована в программу RAM-STAMP для

создания конечно-элементных моделей пуансона и матрицы (рис. 16).

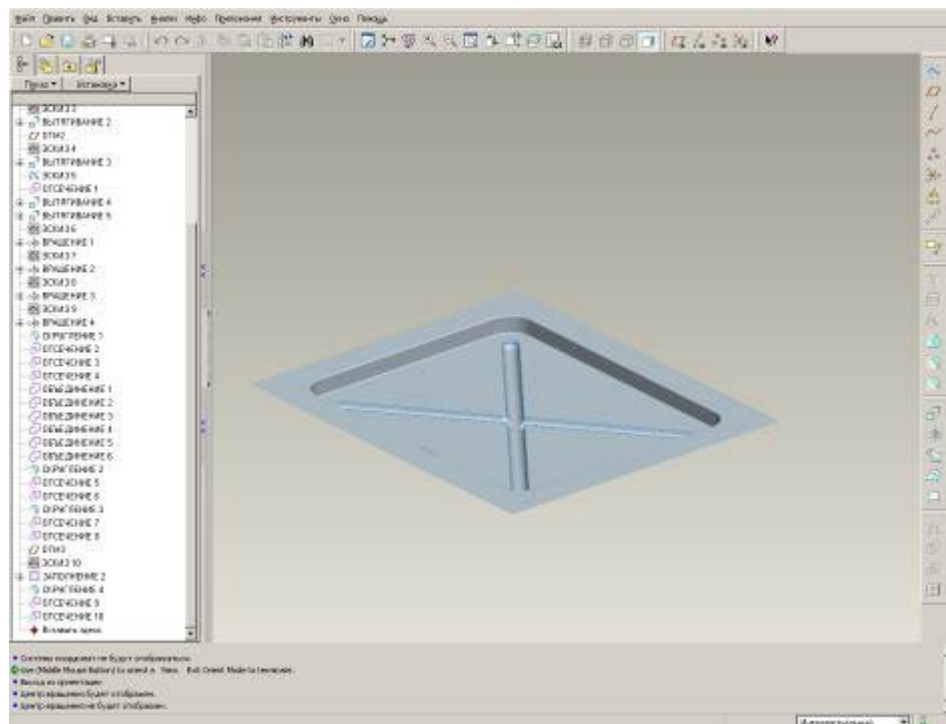


Рис. 15. Геометрическая модель детали типа «Крышка»

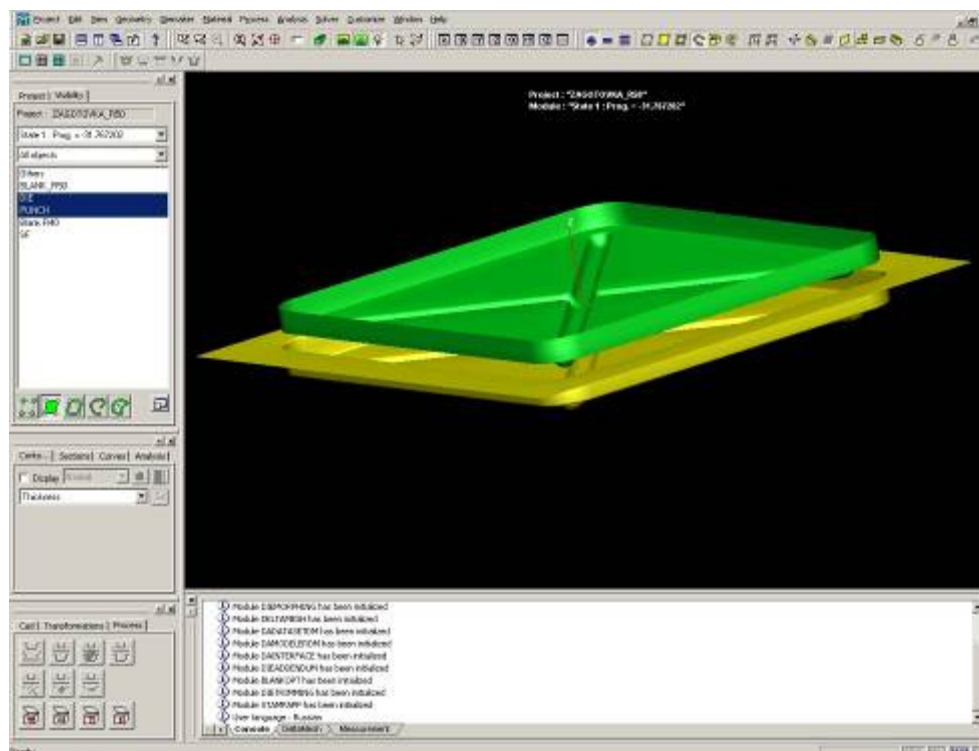


Рис. 16. Конечно-элементные модели пуансона и матрицы в программном комплексе PAM-STAMP

При вытяжке заготовки с радиусом скругления углов $R = 40\text{мм}$ (рис. 17) в угловой зоне образуются «фестоны», и высота стенки по углам превышает высоту прямолинейных участков детали.

ли. При этом необходима дополнительная обработка для обрезки неравномерно вытянутых углов детали.

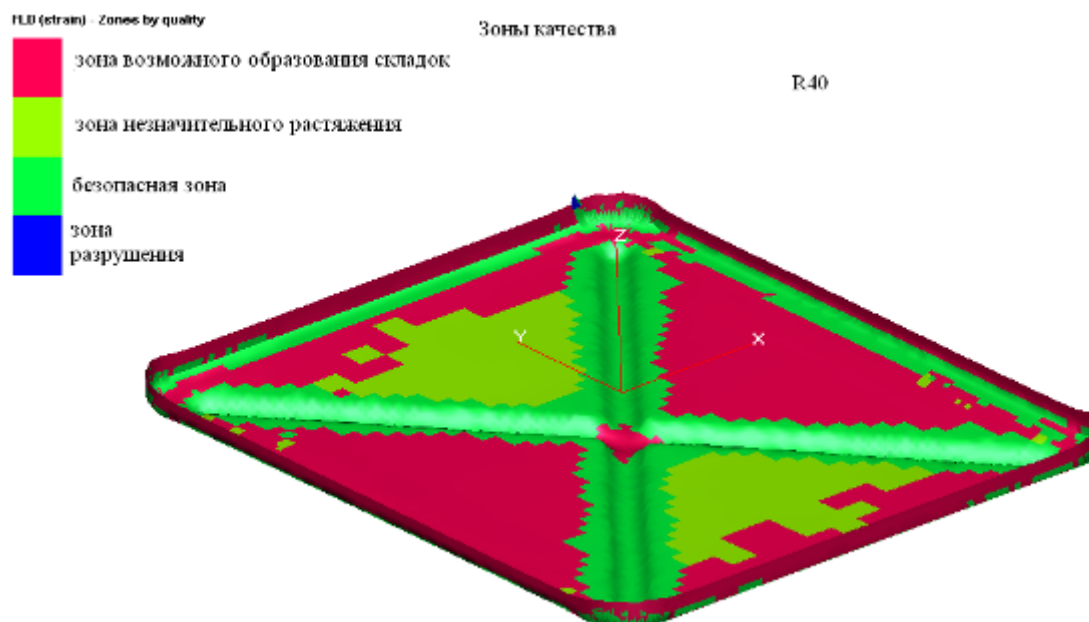


Рис. 17. Моделирование вытяжки и формовки детали типа «Крышка» при $R = 40\text{мм}$

При вытяжке заготовки с радиусом скругления $R = 60\text{мм}$ (рис. 18) наблюдается «утяжина» стенок в угловой зоне, которая приводит к непол-

ному формированию стенки по высоте, что является недопустимым браком.

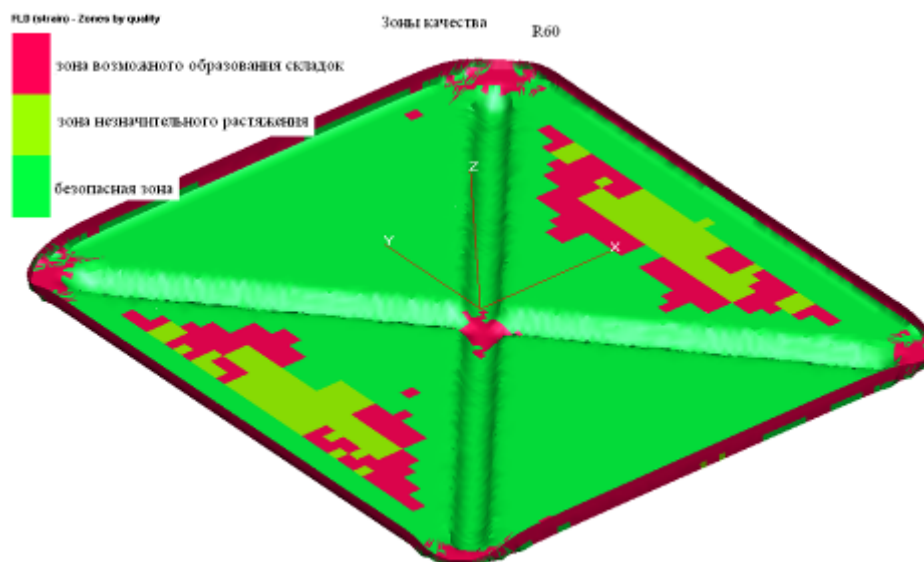


Рис. 18. Моделирование вытяжки и формовки детали типа «Крышка» при $R = 60\text{мм}$

При вытяжке заготовки с радиусом скругления $R = 50\text{мм}$ (рис.19) происходит полное формирование стенки по высоте.

Таким образом, оптимальным значением

радиуса скругления углов заготовки по критерию равномерности высоты стенки детали является $R = 50\text{мм}$.

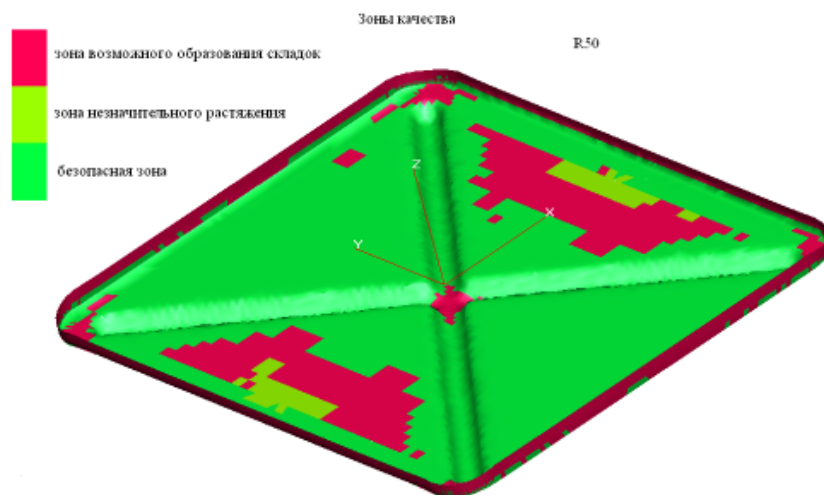


Рис.19. Моделирование вытяжки и формовки детали типа «Крышка» при $R = 50\text{мм}$

Использование программы PAM-STAMP при разработке и исследовании технологических процессов штамповки деталей «Держатель каркаса оперения» и «Крышка» позволило сократить время расчета и проверки необходимых технологических параметров.

Применение программного комплекса PAM-STAMP для автоматизации проектирования процессов листовой штамповки в промышленности позволяет сократить сроки проектирования, снизить затраты на производство, экономить металл и энергоресурсы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение. 1979. – 520с.
3. PAM-STAMP. User's Guide. - 2005.
4. Семенов Е.И. Применение программного комплекса PAM-STAMP для автоматизации проектирования процессов листовой штамповки // Машиностроение и инженерное образование. – М.: МГИУ, 2008. - №3. – с.42-47.